第 37 卷第 20 期 2017 年 10 月
生 态 学 报
ACTA ECOLOGICA SINICA
Vol.37,No.20 Oct.,2017

DOI: 10.5846/stxb201607281544
占昕, 潘文斌, 郑鹏, 柯锦燕, 陈奇亮.闽江河口湿地自然保护区及其周边区域景观自然性评价.生态学报,2017,37(20):6895-6904.
Zhan X, Pan W B, Zheng P, Ke J Y, Chen Q L.Landscape naturalness assessment of the Minjiang River Estuary Wetland Nature Reserve and surrounding areas.Acta Ecologica Sinica,2017,37(20):6895-6904.

# 闽江河口湿地自然保护区及其周边区域景观自然性评价

占 昕[1], 潘文斌[1,*], 郑 鹏[1], 柯锦燕[1], 陈奇亮[2]
1 福州大学环境与资源学院, 福州 350116
2 福州市环境监测中心站, 福州 350011

**摘要**:闽江河口湿地自然保护区是福建省沿海湿地自然保护区网络中的重要组成部分,通过解译 2003 年和 2013 年两个时相的遥感影像,利用 RS 和 GIS 空间分析技术计算自然景观特征、生态学干扰和景观破碎化程度 3 项指标,并在此基础上构建 2 个层次的景观自然性评价指标体系。同时,运用层次分析法计算各个指标层的权重,定量分析了 2003—2013 年间研究区域的景观自然性的变化,并进一步探讨了不同距离的环状带对湿地保护区及周边区域景观自然性的影响,对闽江河口湿地保护区及其周边区域景观自然性变化进行分析。结果显示:2003—2013 年间,闽江河口湿地自然保护区内景观自然性降低,降幅为 9.17%,景观自然性有随着距离自然保护区距离增加而减小的趋势。景观自然性变化的自然驱动力为气候、水文、植被演替,人为驱动力为人类开发活动和政策导向。据此,提出 3 条建议以便更有效地保护自然保护区和周边区域的自然性,为闽江河口湿地自然保护区的科学管理提供参考。

**关键词**:湿地;自然保护区;层次分析法;景观自然性

## Landscape naturalness assessment of the Minjiang River Estuary Wetland Nature Reserve and surrounding areas

ZHAN Xin[1], PAN Wenbin[1,*], ZHENG Peng[1], KE Jinyan[1], CHEN Qiliang[2]
1 *College of Environment and Resources, Fuzhou University, Fuzhou* 350116, *China*
2 *Fuzhou Environmental Monitoring Centre, Fuzhou* 350011, *China*

**Abstract**: Natural wetlands are one of the most important ecosystems on the earth. However, natural wetlands in China have suffered great loss and degradation owing to rapid population and economic growth, together with long-term overexploitation. Naturalness is an indicator of the natural health of wetland ecosystems, and can reflect the interaction between natural processes and anthropogenic activities. Accordingly, analyses of the dynamic changes and driving mechanisms of naturalness can help to assess the conservation efficiency in nature reserves. Wetland naturalness is commonly defined as 'the similarity of a current wetland state to its natural state'. The Minjiang River Estuary Wetland Nature Reserve (MREWN) is a vital part of the coastal nature reserve network in Fujian Province, China. In this study, by interpreting two remote sensing images in 2003 and 2013, indices of natural landscape features, ecological disturbance, and landscape fragmentation were calculated based on remote sensing (RS) and geographic information system (GIS) techniques. The indices were selected to establish a ranking evaluation system to quantitatively assess the landscape naturalness of MREWN and its surroundings. The landscape naturalness value was calculated based on the dimensionless results and weights of indices, and the weights

**基金项目**:福州大学科技发展基金资助项目(2013-XY-10);福州大学科研启动资助项目(0060510028)
**收稿日期**:2016-07-28; **网络出版日期**:2017-06-01
* 通讯作者 Corresponding author.E-mail: wenbinpan@fzu.edu.cn

were determined using an analytic hierarchy process (AHP). The results show that during the period of 2003—2013, the landscape naturalness of MREWN deteriorated by 9.17%, and the landscape naturalness of buffer zones showed a decreasing trend with increasing distance away from MREWN. Over time, the research showed a transformation from natural to artificial and semi-artificial landscapes. The natural driving forces causing changes in the landscape naturalness of the research area included climate, hydrology, and vegetation succession, whereas the human driving forces were human developmental activities and policy guidance. The decreasing natural landscape and increasing artificial landscape strongly contradicted the supply and demand in land use owing to urbanization in the area surrounding MREWN. Despite certain achievements in MREWN protection, the local government still needs to invest more funds and intensify efforts to protect the naturalness of MREWN. To protect the existing naturalness more effectively and provide references for the scientific management of MREWN, we have provided three suggestions: (1) sufficient measures should be adopted to control ecological invasion in order to improve the habitat and ecological environment. *Spartina alterniflora* in the protected area should be artificially restrained or removed, and mangrove species should be planted in appropriate plots to restore the natural vegetation, which provide a suitable habitat for water birds; (2) considerable efforts to protect rare bird resources should be made. To protect the habitat of waterfowls, monitoring stations should be established, and the early warning system of detecting endemic diseases should be improved. Contaminants on the surface of wetland waters should be cleaned to reduce waterfowl mortality caused by marine pollution; and (3) unreasonable development and habitat utilization should be reduced, based on efficient environmental planning, which should strictly control the construction land index in the surrounding areas. The main function of nearby wetland parks should be environmental education, and their construction should be carried out strictly in accordance with the planning.

**Key Words**: wetland; nature reserves; analytic hierarchy processes; landscape naturalness

湿地是水生、陆生生态系统界面相互延伸扩展的重要空间区域,是自然界最富生物多样性的生态景观和人类最重要的生存环境之一[1]。由于全球气候变化和人类活动的干扰,湿地面积正在大幅度的持续缩减,19世纪以来,全球约有50%的湿地消亡[2-3]。在我国,湿地的保护也成为一个亟待解决的问题。《关于自然保护区建设和管理工作情况的报告》中指出:当前,水域生态系统保护不足,包括海洋类型自然保护区在内的海洋保护面积约占我国主张管辖海域面积的4%,需要加强对于湿地等水域自然保护区的相关监测研究[4]。

闽江河口湿地国家级自然保护区自然环境优越,生物多样性丰富,稀有物种众多,重点保护对象为滨海湿地生态系统、众多濒危动物物种和丰富的水鸟资源。在闽江河口湿地景观格局方面的研究已有许多,如景观格局演变[5]、驱动力因子探讨[6]、生态功能评价[7]等。这些研究中,对闽江河口湿地自然保护区景观自然性变化的研究相对较少。

自然性作为景观格局演变的一个重要表征,是生态学研究中的一个重要指标,不同的学者对自然性有不同的定义[8]。多数学者认为,自然性代表当前生境与未受干扰的原始生境的相似程度[9-11]。自然性反映了人类对自然生境的干扰程度,人类干扰程度越小,自然性越高[12]。国际上的自然性评价研究主要集中在河流[13]、森林[14]的自然性评价上。目前,国内外常用的自然性评价方法主要有两种:通过构建综合指标体系进行定量评价[15]以及通过实地勘测或生物监测进行定性评价[16]。湿地的自然性评价,就是对由自然因素和人为活动引起的湿地生态系统退化和破坏程度进行评估。

自然性多用于生物群落、自然生态系统与自然景观的评价,也可用于物种的评价[16]。在多数研究中,往往使用植被覆盖度[17]和物种丰富度[18]来表征区域的自然性,这是因为植被覆盖度和物种丰富度变化能够反映人为干扰对生境的影响。景观结构与物种多样性之间具有紧密的联系,在斑块水平上,很多研究证实了斑块面积、斑块形状等属性特征对栖息于斑块内的生物多样性有重要影响,并对边缘物种和内部物种的影响差别显著;同时在景观水平上,景观基质、组成和构型异质性对物种多样性的影响也具有较强的尺度依赖性[19]。

景观自然性是生态系统内物种赖以生存的基础,景观自然性变化必然会对区域物种造成影响。因此,景观自然性是自然性研究的一个重要组成部分,对景观自然性及其评价的研究是景观管理和自然保护研究中的一项重要课题[20]。

本研究以闽江河口湿地自然保护区及周边区域为研究区,结合景观生态学的研究方法,构建湿地自然保护区景观自然性评价体系,对其景观自然性进行评价。对研究区域进行景观自然性评价研究,能为合理调控人类活动对湿地的干扰程度提供依据,从而更好地开发和利用湿地资源,促进湿地生态系统的良性发展。

## 1　研究区域及方法

### 1.1　研究区域概况

福建闽江河口湿地国家级自然保护区坐落于福州市的长乐市和琅岐经济开发区内,地理坐标为东经119°35′51.00″—119°41′12.00″,北纬26°01′07.05″—26°04′34.00″之间。为了探究保护区周边景观自然性变化的趋势,选定自然保护区及边界向外6km缓冲区域作为研究区域(图1)。

福建闽江河口湿地自然保护区有野生脊椎动物共41目111科395种,国家重点保护野生动物54种,其中国家一级保护野生动物5种,国家二级保护野生动物49种。水生生物资源丰富,有底栖动物和潮间带生物268种,浮游植物147种,浮游动物116种。水生生物以暖水性种类为主,形成常见种和优势种。保护区内现已初步查明维管束植物种类共53科116属141种,依据植物群落的种类组成、外貌结构和生态生理分布,闽江河口湿地主要植被类型可以分为红树林、滨海盐沼、滨海沙生植被3个植被型,有互花米草(*Spartina alterniflora*)群落、芦苇(*Phragmites communis*)群落、短叶茳芏(*Cyperus malaccensis* var. *brevifolius*)群落、海三棱藨草(*Scirpus mariqueter*)群落、中华结缕草(*Zoysia sinica*)群落、苦郎树(*Clerodendrum inerme*)群落、狗牙根(*Cynodon dactylon*)群落、铺地黍(*Panicum repens*)群落、木麻黄(*Casuarina equisetifolia*)群落、厚藤(*Ipomoea pes-caprae*)群落、老鼠簕(*Acanthus ilicifolius*)群落、甜根子草(*Saccharum spontaneum*)群落、矮生苔草(*Carex pumila*)群落、秋茄(*Kandelia candel*)群落等14个群系。

### 1.2　数据来源及处理

为分析闽江河口湿地自然保护区及其周边区域的景观自然性动态变化情况,利用2003年Landsat 7影像以及2013年Landsat 8影像参照标准假彩色合成(所选影像获取时间均是低潮期),采用多步骤分类法进行遥感影像解译。具体过程为:首先根据确定的土地分类体系,比较各个地类的光谱特征,从较易分离的地类开始提取,并将提取的地类对应区域进行掩膜处理,消除对其他地物的影响;然后,对其余特征不明显的土地类型通过构造新波段来解读,并进行监督分类。如此反复,直至获取到所有地物类型信息为止。

### 1.3　研究方法

#### 1.3.1　研究区域景观分类

根据现场调研资料和相关研究[21-23],将研究区域的土地利用类型分为3个一级分类和12个二级分类。根据闽江河口湿地各景观类型受到的人类干扰强度,将其分为自然景观、半人工景观、人工景观3种类型。其中,自然景观是海域、林地、内陆水体、滩涂、植被滩涂区和草地;半人工景观是耕地、园地和裸地;人工景观是设施农业用地、建设用地和交通用地。闽江河口湿地的设施农业用地主要包括水产养殖区域、盐田、人工水库以及灌排沟渠。对分类结果(图2)的精度检验如下:2003年、2013年研究区域的分类结果总精度分别为90.31%、93.77%,Kappa系数分别为0.8774和0.9199,符合最低判别精度0.7的要求[24]。

#### 1.3.2　景观自然性评价的指标体系构建

参照当前国内外自然性评价研究的相关指标体系,分析影响闽江河口湿地自然保护区景观自然性的指标,并结合保护区的自然生态环境特点,遵循符合国际发展趋势、容易测量和量化、指标定义明确等筛选原则,以闽江河口湿地自然保护区景观自然性评价作为目标层(A),选取自然景观特征(B1)、生态学干扰(B2)、景观破碎化程度(B3)等3项指标构成准则层(B)。指标层(C)由自然景观优势度[25](C1)、自然景观平均大小

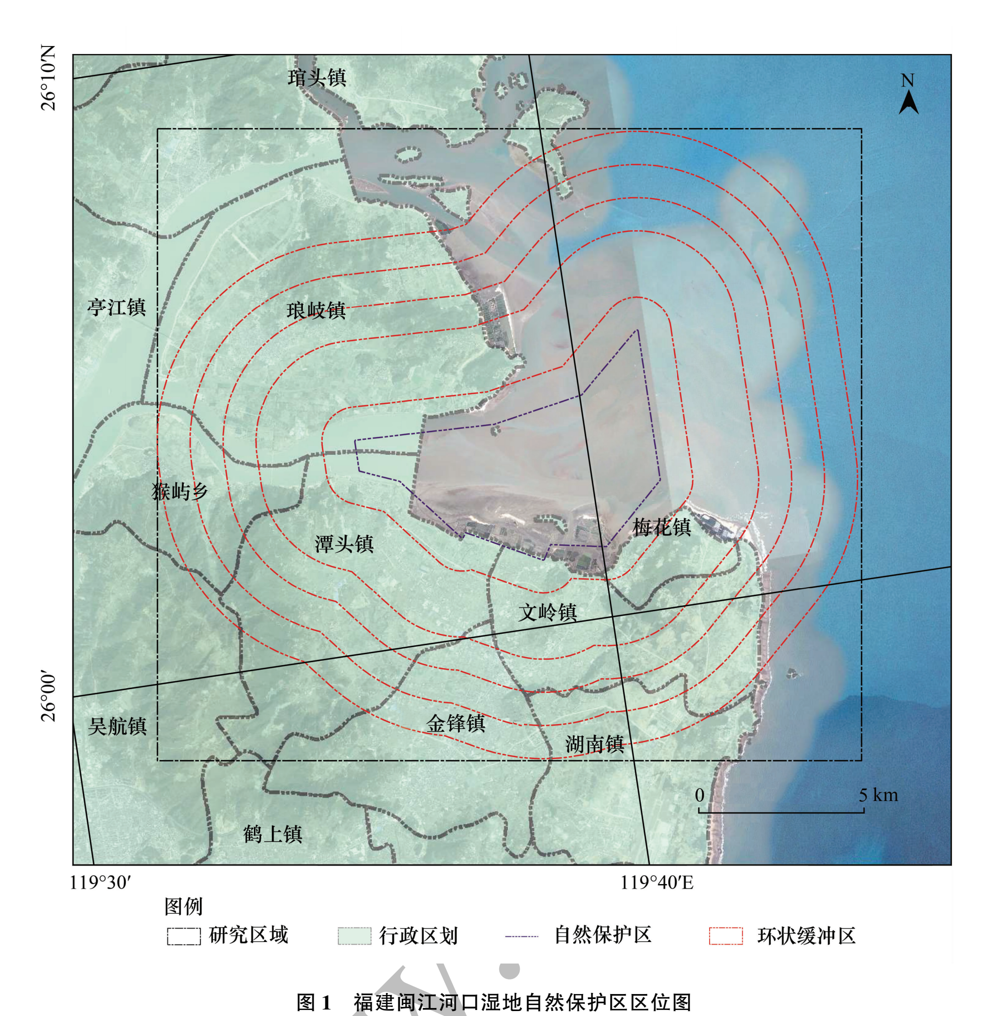



图 1 福建闽江河口湿地自然保护区区位图

**Fig.1 Location of the Minjiang River Estuary Wetland Nature Reserve**

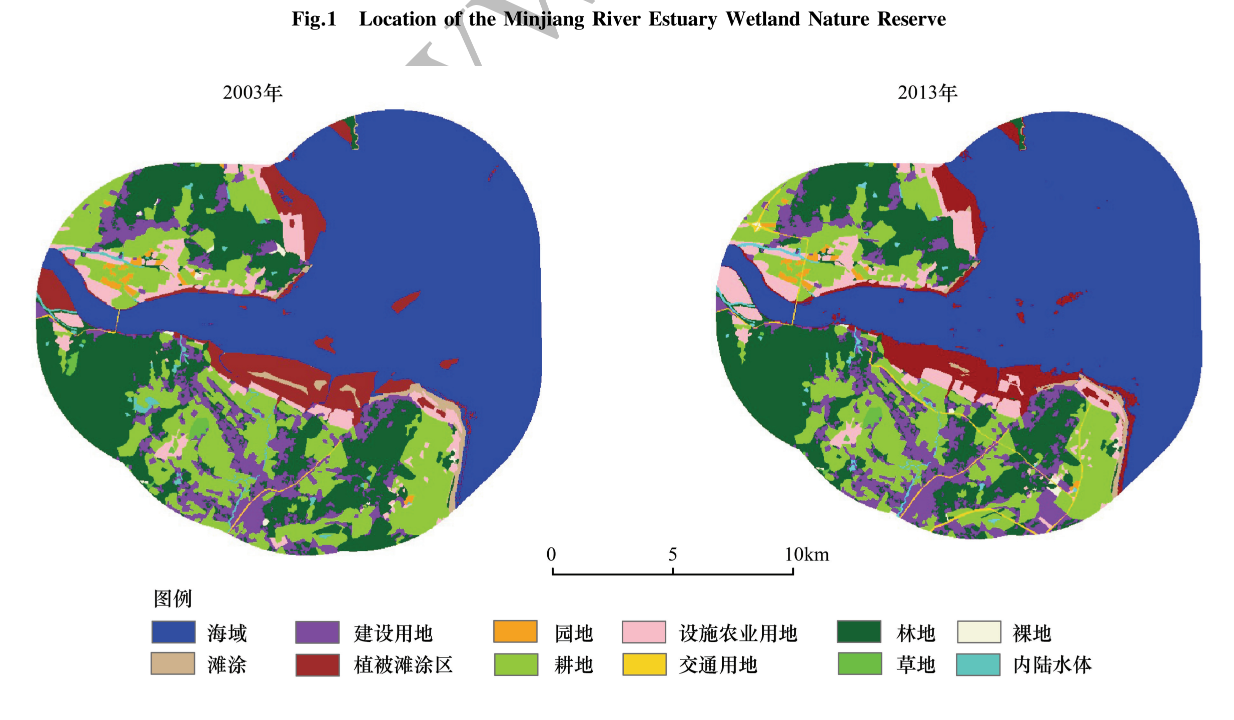



图 2 研究区域土地利用现状分类

**Fig.2 Classification of land use in the study area**

(C2)、生境品质指标(C3)、人工干扰指数[26](C4)、人工景观平均大小(C5)、平均最近邻指数[27](C6)、面积加权平均斑块分维数[27](C7)、破碎度指数[28](C8)、斑块数量[27](C9)、散布并列指数[27](C10)等 10 项指标构成。

其中,多数指标的定义可参见相关文献的表述,一些指标的定义略有不同。优势度指数通常用于描述景观由少数几个主要的景观类型控制的程度。本研究中使用自然景观百分比用来表示自然景观优势度,自然景观百分比是自然景观面积占总景观面积的百分比。自然景观优势度越高,表示组成景观的自然景观越多。平均自然景观面积是指自然景观斑块的平均面积大小($hm^2$),平均人工景观面积是指人工景观斑块的平均面积大小($hm^2$)。生境品质指标是景观平均生境适宜性与期望的生境适宜性之比,不同地类的平均生境适宜性取值参照相关的研究以及闽江河口湿地科考专家的建议[18]。

$$HI = \sum_{i=1}^{n} (H_i \times \mathrm{PLAND}_i) / H_{\mathrm{MAX}} \quad (1)$$

式中,$HI$ 是生境品质指标,$H_i$ 是 $i$ 类景观的湿地生物生境适宜值,$\mathrm{PLAND}_i$ 是 $i$ 类景观的面积占总景观面积的比例,$H_{\mathrm{MAX}}$ 是景观中湿地生物生境适宜值的最大值。

### 1.3.3　景观自然性评价指标权重确定

根据所建立的评估指评价体系,运用层次分析法[29]确定指标权重。邀请从事湿地保护相关专家(共 5 人,均为从事自然保护区或者生态学研究的专家),根据他们各自的知识和经验,对各层次中多因子相对优劣程度进行判断,每个人分别构建 A-B 判断矩阵和 B-C 判断矩阵。经过统计分析后对存在不一致的判断矩阵,组织 5 人圆桌会议讨论后得出最终的判断矩阵,由此构建了综合各个专家知识后的判断矩阵。所有判断矩阵均具有满意的一致性,判断矩阵构造合理,由判断矩阵计算得到的准则层和指标层的权重结果如表 1 所示。

在建立指标体系后,对闽江河口湿地自然保护区以及保护区边界向外 1、2、3、4、5、6km 缓冲形成的闭合区域分别进行景观自然性评价分析。由于选取的指标计算出来的量纲不一样,各指标对保护区自然性变化的影响各异,有些起着正向作用,而有些则起逆向作用,数据间缺乏可比性。为了消除各指标的量纲效应或数量级所造成的影响,使指标更具有通用性,分析时采用 Min-max 标准化处理方法对各指标的样本值进行标准化处理,把最终结果转化为[0,1]之间的数值[30]。本研究选用的正向指标为自然景观优势度、自然景观平均大小、生境品质指标、面积加权平均斑块分维数;逆向指标为人工干扰指数、人工景观平均大小、平均最近邻距离指数、破碎度指数、散布并列指数、斑块数量。

**表 1　闽江河口湿地自然保护区景观自然性评价指标的权重**

**Table 1　The indexes weight of landscape naturalness assessment of Minjiang River Estuary Wetland Nature Reserve by AHP**

| 目标层 Target (A) | 准则层 Criterion (B) | 权重 Weight | 指标层 Indicators (C) | 权重 Weight |
|---|---|---|---|---|
| 景观自然性评价 A Landscape naturalness assessment | 自然景观特征 B1 | 0.5399 | 自然景观优势度 C1 | 0.3209 |
| | | | 自然景观平均大小 C2 | 0.1343 |
| | | | 生境品质指标 C3 | 0.0846 |
| | 生态学干扰 B2 | 0.2971 | 人工干扰指数 C4 | 0.1091 |
| | | | 人工景观平均大小 C5 | 0.0458 |
| | | | 平均最近邻距离指数 C6 | 0.1128 |
| | | | 面积加权平均斑块分维数 C7 | 0.0293 |
| | 景观破碎化程度 B3 | 0.1630 | 破碎度指数 C8 | 0.0405 |
| | | | 散布并列指数 C9 | 0.0969 |
| | | | 斑块数量 C10 | 0.0255 |

## 2 结果与分析

### 2.1 景观自然性评价分析

#### 2.1.1 闽江河口湿地自然保护区景观自然性评价

本研究以10a为时间尺度对闽江河口湿地自然保护区及周边区域进行了景观自然性评价。在进行指标无量纲化处理时,将2003年和2013年的保护区及各级缓冲区的指标数据作为一个数据集考虑,进行标准化处理,无量纲化处理后的景观自然性定量计算结果见图3。

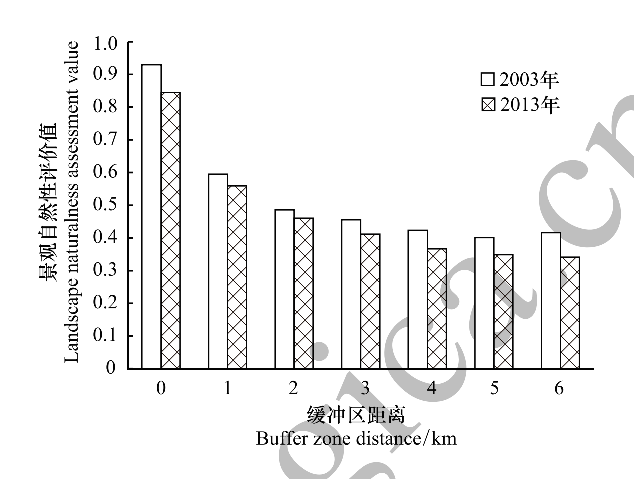



图3 闽江河口湿地自然保护区及周边区域景观自然性评价

Fig.3 Assessment of landscape naturalness of Minjiang River Estuary Wetland Nature Reserve and surrounding areas

从图3可知,2003—2013年间,闽江河口湿地自然保护区的景观自然性评价值由0.93下降到0.84,降幅为9.17%。从景观格局变化来看,保护区内自然斑块平均面积减少,面积占比下降,而人工斑块平均面积大幅增加,人为干扰程度变大。斑块数量增加,破碎度指数增大,景观破碎化程度加深。闽江河口湿地自然保护区景观自然性评价结果表明:2003—2013年间,闽江河口湿地自然保护区内部人类干扰增加,人工斑块的扩张给湿地生境带来了较大的负面影响,造成保护区内的景观自然性下降。但总体来看,闽江河口湿地自然保护区内景观受人为干扰影响较小,破碎化程度低,自然斑块比重高,体现了自然保护区内景观自然、原始的特点。

从实地考察的结果来看,在保护区内的人为干扰主要是周边村民在闽江河口湿地开展的围垦养殖活动。保护区周边村民主要从事渔业捕捞、水产养殖、种植蔬菜、外出经商和务工等经济活动,其中水产养殖是周边村民经济收入的主要来源。大面积的围垦养殖破坏了湿地内水生动物和鸟类的栖息地,不利于鱼类和鸟类的觅食和繁衍。围垦养殖还造成设施农业用地在保护区内大量扩张,改变了湿地的自然景观结构,增大了保护区内的人为干扰程度,促使湿地内的自然景观开始向人工景观转变。除了人为干扰造成的景观自然性下降之外,闽江河口湿地自然保护区内发生的生物入侵也是造成景观自然性下降的重要原因。从2002年开始,闽江河口湿地的主要土著种短叶茳芏开始遭受互花米草的迅速入侵,湿地的生物多样性和生态系统功能受到影响[31]。互花米草繁殖较快,目前已经占据了湿地的大部分浅滩面积,并且同当地水生物种争夺营养物质,导致多种水生生物窒息死亡。同时,互花米草的繁殖还影响了闽江河口水体交换能力,导致水质下降并诱发赤潮,对当地土著种造成巨大威胁,致使大片红树林消亡。而互花米草经济价值较低,含盐量过高无法用做动物饲料和造纸原料,难以利用,并且植株高大容易堵塞航道,要依靠人工进行清理。从景观格局变化的角度来看,互花米草入侵又被清除,使得不少滩涂植被区重新变成光滩,造成生境品质下降,降低了景观自然性。同时,互花米草的繁殖导致大量原本适宜养殖的滩涂区域底质固化,滩面抬高,为了减低养殖成本,不少水产养殖户再次围垦湿地进行水产养殖,又加大了湿地保护区内的人为干扰程度。

#### 2.1.2 闽江河口湿地自然保护区外围缓冲区景观自然性评价

从图3可以看出,保护区外围缓冲区景观自然性评价值有距离自然保护区越远,数值越低的趋势。2003年从保护区往外边界景观自然性评价值变化量依次为-0.33、-0.11、-0.03、-0.03、-0.02、+0.01;2013年为-0.29,-0.10,-0.05,-0.05,-0.02,-0.01。景观自然性评价值递减量从保护区向外逐步减小,到最后趋于稳定。这主要是因为离保护区越远,越靠近乡镇建成区,人类活动的影响越大,景观自然性越低。当景观自然性降低到一定程度时,下降趋势会减缓,并保持稳定。研究表明人为干扰在湿地研究区域具有明显的空间分带性,湿地自然保护区内人为干扰主要以设施农业用地为主,在保护区外的内陆区域人为干扰以建设用地、交通

用地为主。在 2003—2013 年间,人类经济开发活动对海域、滩涂、植被滩涂区等景观的干扰程度增加,人为干扰的中心由内陆向海洋转移,这将对闽江河口湿地自然保护区的生态保护带来不利影响。

比较 2003 年和 2013 年闽江河口湿地保护区和缓冲区域的景观自然性评价值,可以看出 2013 年保护区及周边区域的景观自然性评价值均低于 2003 年。说明在 2003—2013 年,闽江河口湿地保护区及周边缓冲区内自然性总体呈下降趋势,表明人类活动对湿地保护区及周边区域的干扰是长时段、大范围的影响。保护区外的缓冲区景观自然性评价值均低于 0.6,表明在保护区周围人类活动对自然环境具有较强的干扰,主要是在保护区周边区域进行旅游资源开发、生产经营活动以及城镇化改造。周边区域内的道路、建设用地景观造成人为干扰指数增加,对整体景观具有较强的切割作用,是缓冲区内景观自然性下降的重要原因。

**2.1.3** 闽江河口湿地自然保护区周边环状带景观自然性评价

为了进一步研究各个缓冲区景观自然性下降情况及其对闽江河口湿地自然保护区景观自然性评价结果的影响程度,本研究对缓冲区进行切割,在原有缓冲区的基础上,形成了距离保护区边界 1km、2km、3km、4km、5km、6km 的环状带闭合区域,并按照和保护区边界的距离分别进行编号(图 1)。对环状带的景观自然性评价结果见图 4。

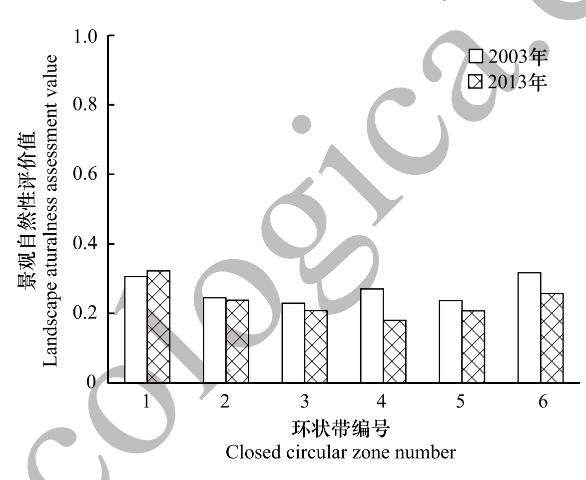



**图 4 闽江河口湿地自然保护区环状带景观自然性评价**

**Fig. 4 Assessment of landscape naturalness of closed circular zone number around Minjiang River Estuary Wetland Nature Reserve**

环状带景观自然性评价结果表明,2003—2013 年保护区外的各环状带景观自然性评价值总体是下降的,而在 1km 环状带内景观自然性评价值有所上升,增幅为 5.34%。说明靠近闽江河口湿地自然保护区 1km 范围内,景观自然性有所回升,表明当地政府对湿地环境保护的治理措施取得了一定成效。在空间尺度上,距闽江河口湿地自然保护区边界 4km 的环状带区域景观自然性较低。这主要有两个方面的原因:一是该区域距离保护区边界已有一定的距离,生态保护的监管力度减小;二是此环状带区域穿过琅岐镇、梅花镇的中心区,近年来人类开发活动较为频繁,人为干扰程度大。从环状带的景观自然性分析可知,闽江河口湿地周围的生态环境保护工作只是取得了初步成效,还需投入更多人力物力进行长期治理。

**2.2** 景观自然性变化驱动力分析

**2.2.1** 自然驱动力

(1)气候

总体来说,闽江河口湿地自然保护区属中、南亚热带海洋性季风气候区,暖热湿润,几乎无冬,光、热、水条件优越。暖湿的气候环境有助于湿地的孕育和恢复,处于海滨的优势地理位置可以增加径流对湿地的补给,减少湿地面积萎缩,保护湿地的景观自然性。但不同的雨热条件对靠近内陆的部分湿地仍有较大影响。从福州市的气候数据可知,1981—1990 年间福州市年平均气温为 19.7℃,年平均降水量为 1369.9mm;1991—2000 年间福州市年平均气温为 20.3℃,年平均降水量为 1437.3mm;2001—2014 年间福州市年平均气温为 20.6℃,年平均降水量为 1387.8mm。1981—2014 年间福州市的年平均气温在升高,而 2001—2014 年间平均降水量相较 1990—2000 年间减少。气候变化造成湿地的蒸发量增加,而得到的大气降水补给量减少,会导致湿地系统水位降低,湿地面积减少,景观格局发生演变。

除此之外,闽江河口湿地风日多,风速大,风害剧烈。平均每年台风次数达 5 次以上,风力可达 12 级(6—9 月)。台风期间湿地滩面受到底部切应力的控制,沉积物发生再悬浮,导致滩面侵蚀的发生。闽江河口湿地保护区内的极端气候对自然性下降有推动作用,沿海风蚀、水蚀形成曲折的海岸线,对沿岸景观具有切割作

用,加剧了研究区域内景观的破碎化程度,降低景观自然性。

(2)水文

闽江河口潮汐来自外海潮波,地形和径流对其有很大影响。闽江河口和下游河段的潮波以半日潮波为主,具有驻波性质,垂线平均最大流速发生在高、低潮前后 2—3h,憩流发生在高、低潮附近。保护区所处的闽江河口地区,潮汐基本上为正规半日潮,每年 7、8 月间为年大潮期,每月农历初三、十八前后为月大潮期,每天潮水位两涨两落。闽江河口区域两水道即梅花水道和长门水道,其中梅花水道对闽江河口湿地自然保护区的滩涂景观变化影响较大。

闽江河水在亭江镇转弯后进入梅花水道,大部分受浅滩阻挡,一方面水流冲刷浅滩,使浅滩泥沙再悬浮,增加径流含沙量;另一方面水流受阻,流速变缓,水流对浅滩的冲刷力减弱,河水携带的泥沙有所沉积,落淤在浅滩上,增高浅滩,扩展浅滩的面积[32]。梅花水道带来的泥沙在潭头港河段发育了新的沙洲,将鳝鱼滩向东伸出去的沙嘴与相邻的沙岸连接成一片,推动潭头港到梅花镇一线岸线向海淤进。向海淤进的滩涂向四周扩展并连接周围的浅滩,对滩涂和海域的景观分布产生影响。滩涂景观的扩张对景观自然性的变化既有正面影响,也有负面影响:一方面增加了斑块边界的复杂程度,一方面降低了原有海域的生境品质。总之,在自然因素和人为活动的影响下,泥沙运动作为区域环境演变的内在驱动力,控制着整个闽江河口的湿地形成及演变[32]。

(3)植被演替

植被演替也是闽江河口湿地自然保护区自然性变化的一个重要驱动力。滩涂植被生态特点与滩面潮汐动力条件等环境因素决定了植被类型以及分布位置,闽江河口湿地主要分布的植被有红树林、互花米草、短叶茳芏、木麻黄和芦苇等。其中,互花米草是适宜在海滩高潮带下部至中潮带上部广阔滩面生长的耐盐、耐淹的多年生草本植物,既是优势种,又是先锋种。互花米草植被群落密度大,植株高,阻挡滩面潮流速度作用明显。互花米草的生长可以促进滩面泥沙的淤积,加速滩涂面积的增长,从而加快滩涂植被类型向外的自然演替过程[33]。在研究区域内也会出现逆演替现象,在多发的台风天气以及潮汐的冲刷下,随着滩面被侵蚀降低,本来适合植被生长的区域会重新变成光滩。

人类活动在一定程度上改变了自然演替的过程,其中滩涂围垦和引进互花米草对当地自然演替影响最大。滩涂围垦一方面破坏了原有的滩涂植被景观,使得滩涂植被大量减少;另一方面改变了岸滩的潮汐动力条件,加快了潮滩的增长速度,从而加快了滩涂植被类型的演替速度。在演替过程中,滩涂植被和滩涂景观类型的相互转化以及植被对潮间带的泥沙淤积作用,对保护区内的植被滩涂区、滩涂、海域等景观的形状、面积以及破碎化程度均有影响。

**2.2.2**　人为驱动力

(1)人类开发活动

2003—2013 年间长乐市的经济快速发展,GDP 总量由 2003 年的 113.21 亿元增长到 2013 年的 485.07 亿元,年均增速 15.7%。与此同时,闽江口周围人口的增加和工农业生产规模的扩大导致污水排放严重,闽江河口海域多次爆发赤潮,对当地的生态环境造成很大破坏,水质严重恶化,导致滩涂上不少适生植被消亡,湿地物种繁殖的生境适宜性下降。

2008 年闽江河口湿地公园建成后,人类活动对保护区的生态环境干扰越发显著,琅岐镇东面靠近湿地保护区的海滩多数建立了度假村,大量滩涂被围垦养殖。频繁的人类活动干扰使得闽江河口湿地的鸟类和鱼类数量明显减少,在岛上越冬的候鸟数量也持续减少。从研究区域景观格局和自然性动态变化可知,闽江河口湿地自然保护区内的设施农业用地扩张迅速,侵占原有的滩涂和植被滩涂区域,对生境造成较大的破坏,对湿地生物多样性安全也造成了威胁,使得湿地保护区内景观自然性下降。在保护区外围区域存在的人类开发活动加快了自然驱动力对景观格局的改造作用,促使自然景观向人工、半人工景观转变,将原有的自然生态系统改造成人工生态系统,降低了湿地的景观自然性。

(2)政策导向

自 2003 年长乐市人民政府批准建立闽江河口湿地自然保护区以来,福建省政府、福州市政府、长乐市政府等各级人民政府采取多种措施保护闽江河口湿地的生态环境。2008 年,经福州市编办批准,长乐闽江河口湿地省级自然保护区成立了正科级事业单位的管理机构。2010 年,福建省十一届人民代表大会常务委员会批准实施《长乐闽江河口湿地自然保护区管理办法》,加强闽江河口湿地自然保护区自然环境和自然资源的保护与管理。《长乐闽江河口湿地自然保护区管理办法》的制定,标志着闽江河口湿地自然保护区的管理走向程序化和法制化。保护区建区以来,通过科学管理和积极宣传,实行依法保护、打防结合的治理思路,保护区内较少发生偷猎等破坏资源现象,管理工作逐步进入良性轨道。

闽江河口湿地自然保护区及周边区域景观自然性变化是自然驱动因素和人为驱动因素共同作用的结果。自然驱动力往往是在大时间尺度上对大范围区域的景观格局变动上体现,而人为驱动力在短时间内就能对景观格局产生明显的改变。从总体变化来看,在闽江河口湿地保护区及周边区域的景观格局变化中,人为驱动力占主导地位。随着闽江河口湿地自然保护区周边区域的不断开发,土地景观类型的动态变化呈现出自然景观不断减少,人工景观不断增加的趋势。同时具有耕地不断流失,植被滩涂区不断减少,建设用地和设施农业用地扩张的特征。说明闽江河口土地资源存在供需矛盾,闽江河口湿地自然保护区的宏观规划和管理方面还需改进,要调整人类生产生活方式,减少对研究区域景观的干扰和破坏,保护景观的完整性和自然性。

### 2.3　闽江河口湿地自然保护区及周边区域的自然性保护措施

闽江河口湿地自然保护区是典型的湿地生态系统,主要保护对象为河口湿地水禽。保护和恢复其湿地生态系统是维持保护区内生物生存和发展的基础,也是保护鸟类生物多样性、促进保护区可持续发展的关键。针对湿地自然保护区景观自然性评价结果并结合实际情况,提出了如下建议:

(1)防治生态入侵。闽江河口湿地植被较丰富,分布面积较大,在维护和改善河口地区生态环境、抵御海潮、风浪等自然灾害和防治近海海洋污染以及保护河口湿地生物多样性等方面起着重要作用[32]。由于互花米草的入侵,目前湿地的原生植被已受到威胁,无法自我恢复。因此,要对保护区内的互花米草进行人工清理、抑制,在适宜的地块合理种植红树林,通过人为干扰措施进行人工促进自然恢复,以恢复保护区的植被,为水鸟提供适宜的栖息环境。

(2)保护珍稀鸟类资源。闽江河口湿地自然保护区是中华凤头燕鸥(*Thalasseus bernsteini*)、黑脸琵鹭(*Platalea minor*)、中华秋沙鸭(*Mergus squamatus*)、东方白鹳(*Ciconia boyciana*)等珍稀候鸟越冬的重要栖息地。为了保护水禽的栖息地,应当建设鸟类监测站,完善鸟类疫源疫病预警系统,对越冬的鸟类进行保护,对湿地海域表面的漂流物进行清理,减少由海域污染造成的水禽死亡。

(3)科学规划与合理开发。湿地保护的最终目的不是禁止开发,而是合理开发。但也应当注意到湿地是一个特殊的旅游资源,其生态系统脆弱,应以保护为主,开发为辅[34]。闽江河口湿地公园应当发挥其环境教育的功能,并且要严格按照湿地公园的规划进行建设。同时,要治理旅游产业发展中带来的环境污染,防止湿地生境受到破坏。

## 3　结论与讨论

本研究将景观格局指数与景观自然性相结合,运用 RS 和 GIS 技术,利用层次分析法建立综合指标评价体系量化闽江河口湿地自然保护区及其周边区域的景观自然性,定量分析了 2003—2013 年间研究区域景观自然性的变化,并进一步探讨了不同距离的环状带对湿地保护区及周边区域景观自然性的影响,剖析了景观自然性变化的驱动机制。研究结果表明,由该指标体系得到景观自然性评价符合闽江河口湿地自然保护区的实际情况,具有较好的适用性。2003—2013 年间,闽江河口湿地自然保护区内景观自然性降低,降幅为 9.17%,景观自然性评价值由保护区向外部缓冲区递减。闽江河口湿地自然保护区的管理工作虽然取得了一定的成效,周边区域的自然性有所回升,但总体景观自然性呈现下降的趋势,说明对于闽江河口湿地自然保护

区及其周边区域的生态环境破坏还需要长时间的治理。随着时间的推移,研究区域内人为干扰范围由内陆扩展到河口区,自然景观向人工、半人工景观转换。研究区域景观自然性变化的驱动机制是自然驱动力和人为驱动力相互作用的结果。其中,自然驱动力为气候、水文、植被演替,人为驱动力为人类开发活动和政策导向。

本研究仅从景观自然性的角度对闽江河口湿地自然保护区及周边区域进行了研究,但该地的自然性还包括生物组成、沉积物以及水下地形等其它因素,通过对上述因素的补充完善构建科学的闽江河口湿地自然性评价模型是未来工作努力的方向。同时,将来研究可借助无人机等高新技术手段以获取大量信息,构建环境大数据为湿地保护提供准确的基础数据。

**参考文献(References):**


[1] 孔凡亭, 郗敏, 李悦, 孔范龙, 陈蔻. 基于 RS 和 GIS 技术的湿地景观格局变化研究进展. 应用生态学报, 2013, 24(4): 941-946.

[2] Lienert J, Diemer M, Schmid B. Effects of habitat fragmentation on population structure and fitness components of the wetland specialist *Swertia perennis* L. (Gentianaceae). Basic and Applied Ecology, 2002, 3(2): 101-114.

[3] 张敏, 宫兆宁, 赵文吉, 阿多. 近 30 年来白洋淀湿地景观格局变化及其驱动机制. 生态学报, 2016, 36(15): 4780-4791.

[4] 陈吉宁. 国务院关于自然保护区建设和管理工作情况的报告——2016 年 6 月 30 日在第十二届全国人民代表大会常务委员会第二十一次会议上. 中国人大网, (2016-07-01)[2016-07-15]. http://www.npc.gov.cn/npc/xinwen/2016-07/01/content_1992679.htm.

[5] 郑彩红, 曾从盛, 陈志强, 林茂昌. 闽江河口区湿地景观格局演变研究. 湿地科学, 2006, 4(1): 29-35.

[6] 周亮进, 由文辉. 闽江河口湿地景观格局动态及其驱动力. 华东师范大学学报: 自然科学版, 2007, (6): 77-87.

[7] 周亮进. 闽江河口湿地生态脆弱性评价. 亚热带资源与环境学报, 2008, 3(3): 25-31.

[8] Machado A. An index of naturalness. Journal for Nature Conservation, 2004, 12(2): 95-110.

[9] 冯泽深, 高甲荣. 北京郊区雁栖河自然性定量评价. 中国农村水利水电, 2008, (10): 14-17.

[10] 刘宗平, 刘进琪. 内陆河流健康评价探讨. 水资源保护, 2007, 23(3): 24-26, 35-35.

[11] Winter S. Forest naturalness assessment as a component of biodiversity monitoring and conservation management. Forestry, 2012, 85(2): 293-304.

[12] Götmark F. Naturalness as an evaluation criterion in nature conservation: a response to Anderson. Conservation Biology, 1992, 6(3): 455-455.

[13] Schofield N J, Davies P E. Measuring the health of our rivers. Water, 1996, 5(6): 39-43.

[14] Winter S, Fischer H S, Fischer A. Relative quantitative reference approach for naturalness assessments of forests. Forest Ecology and Management, 2010, 259(8): 1624-1632.

[15] Anderson J E. A conceptual framework for evaluating and quantifying naturalness. Conservation Biology, 1991, 5(3): 347-352.

[16] 郑允文, 薛达元, 张更生. 我国自然保护区生态评价指标和评价标准. 农村生态环境(学报), 1994, 10(3): 22-25.

[17] Ellenberg H, Leuschner C. Vegetation Mitteleuropas Mit Den Alpen. 5th ed. Stuttgart: Eugen Ulmer, 1996: 833-839.

[18] 王乃江, 刘增文, 徐钊, 张文辉, 陆元昌, 范少辉, 王勇, 周玲. 黄土高原主要森林类型自然性的灰色关联度分析. 生态学报, 2011, 31(2): 316-325.

[19] 董翠芳, 梁国付, 丁圣彦, 卢训令, 汤茜, 李栋科. 不同干扰背景下景观指数与物种多样性的多尺度效应——以巩义市为例. 生态学报, 2014, 34(12): 3444-3451.

[20] Jansen F, Zerbe S, Succow M. Changes in landscape naturalness derived from a historical land register—a case study from NE Germany. Landscape Ecology, 2009, 24(2): 185-198.

[21] 孙永光, 赵冬至, 吴涛, 卫宝泉, 高树刚, 李媛, 曹芳芳. 河口湿地人为干扰度时空动态及景观响应——以大洋河口为例. 生态学报, 2012, 32(12): 3645-3655.

[22] 谷东起, 付军, 丰爱平. 基于景观生态学方法的朝阳港潟湖湿地人类干扰强度定量评估. 湿地科学, 2010, 8(1): 37-42.

[23] 张甜, 梁琦珍, 陶蕴之. 海岸带湿地景观及人为干扰度的动态变化——以环渤海 5 公里海岸带为例. 城市地理, 2015, (14): 203-205.

[24] Tchebakova N M, Parfenova E, Soja A J. The effects of climate, permafrost and fire on vegetation change in Siberia in a changing climate. Environmental Research Letters, 2009, 4(4): 045013.

[25] 肖寒, 欧阳志云, 赵景柱, 王效科, 苗鸿. 海南岛景观空间结构分析. 生态学报, 2001, 21(1): 20-27.

[26] 由畅, 周永斌, 于丽芬. 景观破碎化数量分析方法概述. 中国农学通报, 2006, 22(5): 146-151.

[27] 邬建国. 景观生态学——格局、过程、尺度与等级 (第二版). 北京: 高等教育出版社, 2007: 99-110.

[28] 邱扬, 杨磊, 王军, 张英, 孟庆华, 张晓光. 黄土丘陵小流域景观格局指数的粒度效应. 应用生态学报, 2010, 21(5): 1159-1166.

[29] Saaty T L. How to make a decision: the analytic hierarchy process. European Journal of Operational Research, 1990, 48(1): 9-26.

[30] 金菊良, 魏一鸣, 丁晶. 基于改进层次分析法的模糊综合评价模型. 水利学报, 2004, (3): 65-70.

[31] 刘向南, 徐敏. 苏北浅滩滩涂植被生态特征及其演替. 南京师大学报: 自然科学版, 2015, 38(3): 107-113.

[32] 周亮进. 闽江河口湿地景观格局动态研究[D]. 上海: 华东师范大学, 2007.

[33] 王维奇, 徐玲琳, 曾从盛, 仝川, 张林海. 闽江河口湿地互花米草入侵机制. 自然资源学报, 2011, 26(11): 1900-1907.

[34] 王立龙, 陆林. 湿地公园研究体系构建. 生态学报, 2011, 31(17): 5081-5095.